

**PETROL BORU SİSTEMLERİNDEKİ BİRLEŞİM NOKTASI
UYUMSUZLUKLARININ ÇATLAK DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Babür Deliktaş
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mustafa Kemal Üniversitesi, 31034, Hatay, Türkiye
e-mail: deliktas@mku.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın amacı açık deniz petrol veya gaz boru sistemlerindeki çatlakların denetlenmesi hedeflemektedir. Bu alan kapsamında, petrol boru sistemlerinin önemli problemlerinden biri olan birleşim noktalarındaki uyumsuzluklar dikkate alındı. Bu çalışmanın temel hedefi, birleşim noktaları uyumsuzluklarının bu alanda yazılmış etkin ve kapsamlı programlardan biri olan LINKpipe yazılımı içerisinde modellenerek boru sistemlerindeki çatlak davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesidir.

Bu amacı gerçekleştirmek için kırılma mekaniği deneylerinde çok yaygın olarak kullanılan tek kener çentik deney numunesinin birleşim noktaları uyumsuzluklarını da kapsayacak şekilde sonlu elemanlar ağ modeli oluşturuldu ve LINKpipe yazılımı kullanılarak farklı parametrik analizler yapıldı. Sonuçlar ve değerlendirmeler çalışmanın ilgili bölümlerinde detaylı olarak verildi.

ABSTRACT

The purpose of this study is to work on the fracture assessment of the offshore pipeline systems. Within this field it has been decided to address the misalignment problem which is one of the important issue for the offshore pipeline system. Main objective of the work is to incorporate the model of the misalignment into a state of art program named LINKpipe in order to characterize the effect of misalignment on the fracture behavior of the pipeline system.

In order to achieve this aim a single-edge notched tension specimen (SENT), which is widely used in fracture mechanics testing, is remodeled by introducing the misalignment to the mesh and various parametric analyses have been performed by using the LINKpipe. The results and discussions are presented in related part of this work.

1. GİRİŞ

Petrol boru sistemlerindeki çatlakların doğru bir şekilde belirlenmesi ve analizi bu sistemlerin yapı bütünlüğünün sağlanması açısından son derece önemlidir. Sonlu elemanlar çatısı altında bir çok farklı üç boyutlu modeller, boru sistemlerindeki çeşitli çatlak mekanizmalarının analizi için geliştirmiş ve kullanılmıştır.[1,2] Ancak doğru ağ tasarımı, büyük bilgi stokunu ve önemli ölçüde bilgisayar zamanı sağlamak için yoğun bir hesaplama gerektiren kapsamlı üç boyutlu lineer olmayan sonlu elemanlar yöntemi çok pratik bir yaklaşım olarak görülmemektedir.

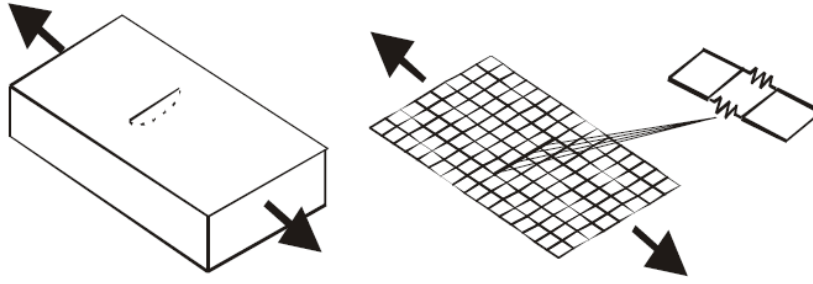
Alternatif olarak daha basitleştirilmiş, şerit yay tabaka modeli boru sistemlerindeki çatlak mekanizmalarının analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.[3-10]. Bu modelin temel avantajı, üç boyutlu çatlak problemini daha kolay çözülebilen iki boyutlu tabaka problemine indirgemesidir. Şerit yay sonlu eleman fikri ilk olarak Rice ve Levy [3] tarafından ileri sürülmüş daha sonra bu yaklaşım Lee ve Park [6] tarafından bir çok yönde geliştirilerek çatlak yoğunluk faktörü, J entegrali, çatlak ucu açılım deplasmanı ve sınırlama gibi çatlak parametrelerinin daha iyi bir şekilde belirlenmesinde kullanılmıştır. Son zamanlarda bu alandaki en son gelişmeler kullanılarak Christian ve arkadaşları tarafından boru sistemlerindeki kritik çatlak ve hasar durumlarını analiz etmek için şerit yay fikri esas alınarak LINKpipe adı verilen bir yazılım geliştirilmiştir.[13-19]

LINKpipe yazılımının temel avantajı boru sistemindeki lokal ve yapısal hasarları aynı anda kullanıcı kolaylığı sağlayarak analiz etmesidir. Bu yazılımın, çatlak mekanizması için önemli kabul edilen ve güncelliğini koruyan; plastik daralma, orantısız yükleme, sünek yırtılma, sünek çatlak gelişimi, malzeme özelliklerindeki uyumsuzluk ve boru birleşimin noktasındaki uyumsuzlukları gibi bir çok problemlerin çözüm algoritmaları eklenerek geliştirilmesi devam etmektedir.

Boru sistemleri için önemli bir sorun olan birleşim noktası uyumsuzluklarının, boru sistemlerinde daha güvenilir ve yapı bütünlüğünü sağlayan tasarımların yapılması açısından yapısal analizlerde dikkate alınması gerekmektedir[20,21]. Boru birleşim noktasında oluşan bu uyumsuzlukların ana sebepleri; boru çaplarının veya et kalınlıklarının farklı olması, boru eksenlerinin çakışmaması veya her ikisinin birde oluşacağı durumlardır. Bu çalışmada bu uyumsuzlukların çatlak parametreleri üzerindeki etkisi incelendi. Bu amacı gerçekleştirmek için LINKpipe yazılımı kullanılarak öncelikle çap farklılıklarından kaynaklanan birleşim noktası uyumsuzluğunu çatlak üzerinde etkisi incelendi Aynı şekilde boru eksenel çakışmalarından oluşan uyumsuzluk LINKpipe yazılımı içinde modellenerek bu uyumsuzluğun çatlak parametresi üzerindeki etkisi belirlendi.

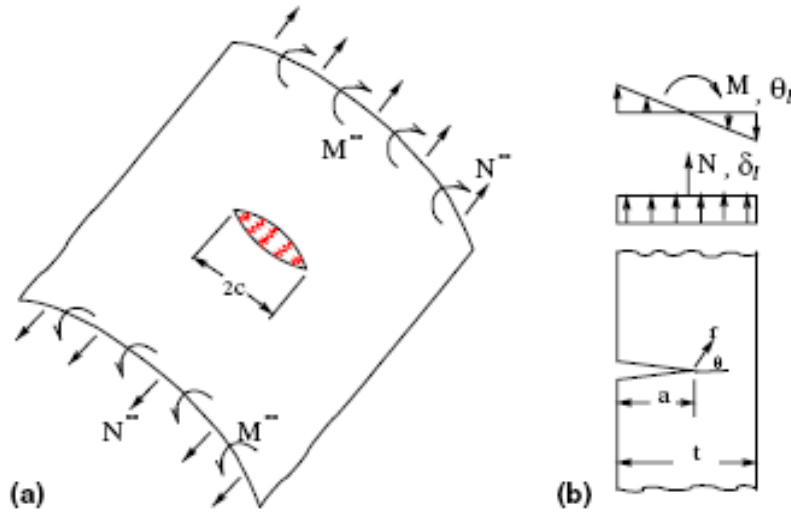
2. ŞERİT YAY MODELİNİN TEORİK ALT YAPISI

Rice ve Levy [3] tarafından geliştirilen şerit yay modelinin en çekici özelliği üç boyutlu çatlak problemini iki boyutlu tabaka problemine indirgemesidir. Burada yapıdaki çatlağı karakterize eden şerit yay eleman sayesinde yapıya ek tamamlayıcı modülü tanıtılmaktadır. Şekil 1 de yapıdaki üç boyutlu çatlağın sonlu elemanlar ağı içerisinde şerit yay tanımlanması gösterilmektedir.



Şekil 1: Üç boyutlu çatlaklı sonlu elemanlar ağında şerit yay ile gösterimi

Tek kenar çentikli numunenin düzlemsel birim defarmasyon altında elde edilen çözüme bağlı olarak yayın lokal tamamlayıcı modülü hesaplanır. O noktadaki yüzey çatlaklarının derinliğine bağlı olarak hesaplanan yayın lokal tamamlayıcı modülü bilindiği için çatlak parametreleri buna bağlı olarak bulunabilir(Şekil 2).



Şekil 2: (a) Yüzey çatlaklı şerit yay ile gösteren 2D tabaka modeli (b) Tek kenar çentikli numunenin düzlemsel birim defarmasyon altında çözümüne bağlı olarak hesaplanan yayın lokal tamamlayıcı modülü

Genelleştirilmiş bileşke kuvvetlerin N_i ve Q_1 iş işleniği olarak rölatif normal deplasman, δ , ve rölatif dönme için ϕ tanımlanabilir. Aynı şekilde zar kuvvet ve eğilme momenti M , ve Q_2 iş işleniği içinde q_1 ve q_2 değişkenleri tanımlanabilir. Bu ilişki elastik bölge için P_{ij} tamamlayıcı modülü kullanılarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$q_i = P_{ij}Q_j \quad (i,j=1,2) \quad (1)$$

Elastik tamamlayıcı modülü P_{ij} , Rice[4] tarafından önerilen tek kenar çentik numunesinin enerji tamamlayıcı modülü kullanılarak, gerilme yoğunluk faktörünün kalibrasyonu yapılarak belirlenebilir. Buna göre Mode I gerilme yoğunluk faktörü aşağıdaki şekilde yazılabilir

$$K_I = F_i(a, t) Q_i \quad (2)$$

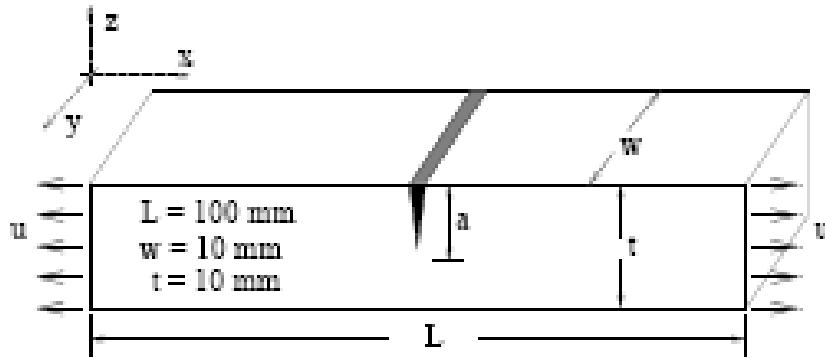
burada $F_i(a, t)$ nin fonksiyonel ifadesi Tada et al[11] tarafından yazılan kırılma mekaniği el kitabının temin edilebilir. J integrali düzlemsel gerilme durumuna göre J integrali gerilme yoğunluk faktörülü ile aşağıda verilen eşitlikle ilişkilendirilebilir.

$$J = (1 - \nu^2) \frac{K_I^2}{E} \quad (3)$$

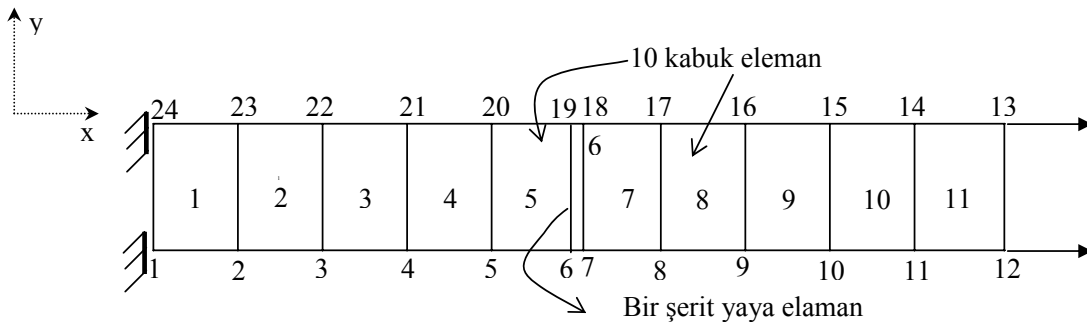
Bu eşitlikte E, malzemin Young modülünü, ν ise malzeminin Poisson oranını temsil eder. Sadece elastik defarmasyon dikkate alındığında, şerit yay fikri kolaylıkla Mode II ve Mode III içinde uyarlanabilir.

3. SAYISAL ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada sayısal analizleri gerçekleştirmek için LINKpipe yazılımı[13-19] kullanıldı. Bu yazılımda eliptik yüzeye çatlağı şerit yay elemanı ile tanımlandı. Şerit yay elemanı, tabaka sonlu elamanlar modelinde yapının tokluk bakımından zayıf yada yüksek gerilme olan bölgesine yerleştirildi. Tek kenar çentik numune için LINKpipe yazılımında oluşturulan model aşağıdaki şekilde gösterilmiştir(Şekil 3,4).

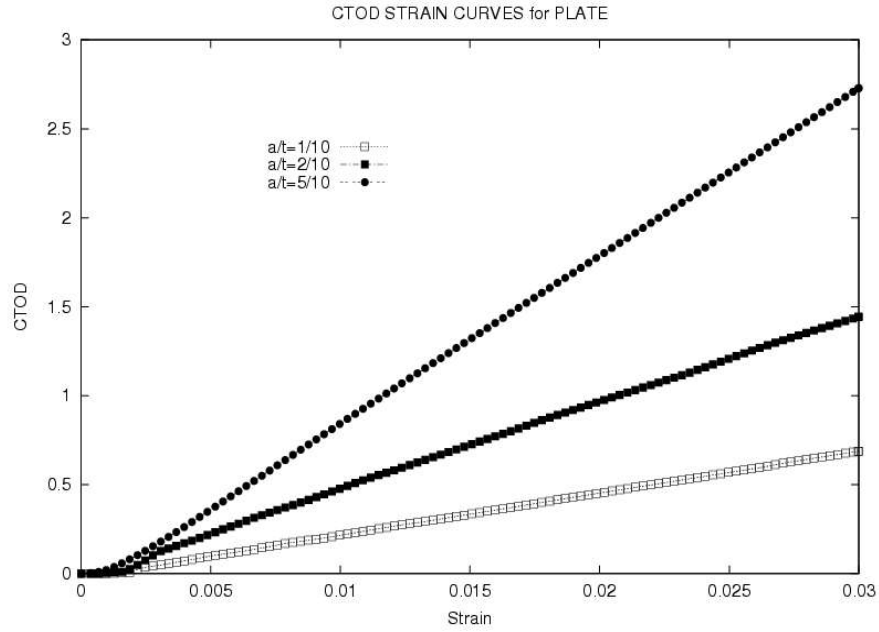


Şekil 3: Tek kenar çentik numunesinin detayları



Şekil 4: LINKpipe yazılımında oluşturulan şerit yay kabuk sonlu eleman ağ modeli

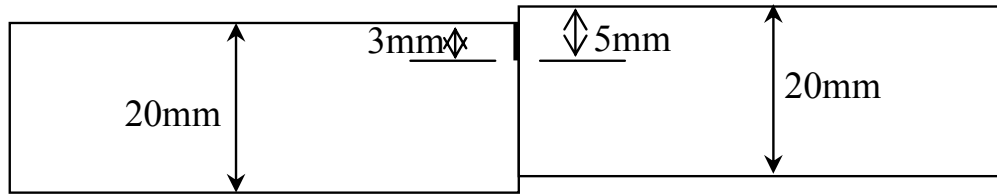
İlk olarak, birleşim noktası uyumsuzluğu yok farz edilerek yapılan sayısal analizde farklı çatlak derinliği/kalınlık, (a/t) oranlarının etkisi incelenmiştir.(Şekil 5)



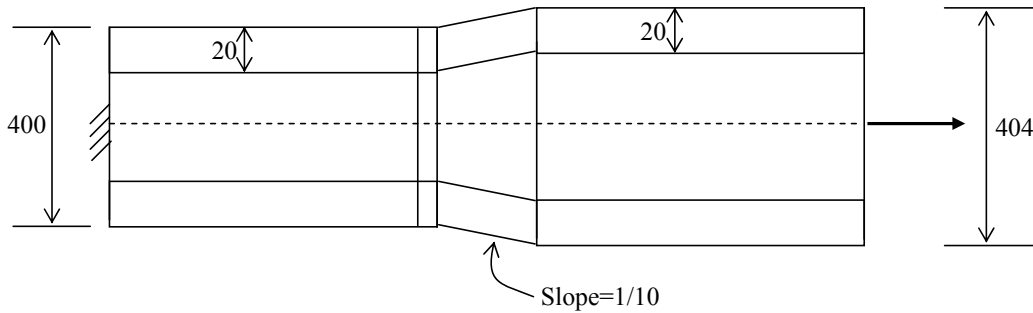
Şekil 5: Farklı çatlak derinliği/kalınlık oranlarına için yapılan analiz sonuçları

Bu analizden sonuçlarından açıkça görüleceği gibi beklenen doğrultuda çatlak boyu/ kalınlık oranı artıkça çatlak ucu açılması da artmaktadır.

Birleşim noktası uyumsuzluğu için ilk önce çaptaki ani değişim (Şekil 6) ve daha sonrada çaptaki sürekli değişim(Şekil 7) LINKpipe yazılımında modellenerek analizler yapıldı.

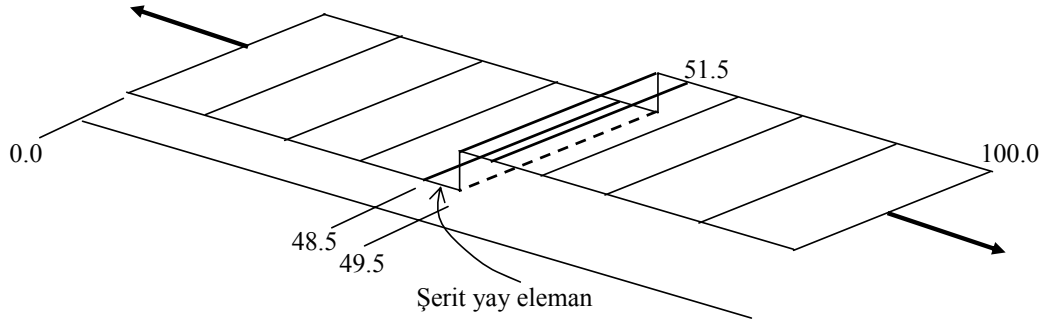


Şekil 6: Birleşim noktasında çaptaki ani değişimin gösterimi



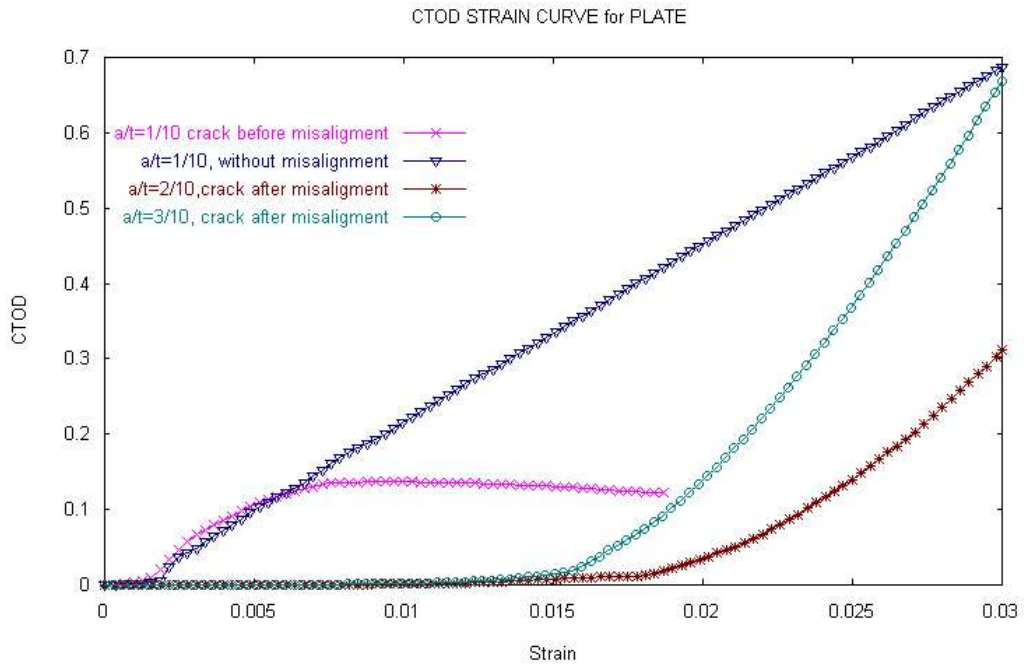
Şekil 7: Birleşim noktasında çaptaki sürekli değişimin gösterimi

Birinci durum LINKpipe yazılımında aşağıdaki şekilde gibi modellenerek analizi gerçekleştirildi.



Şekil 8: Çaptaki ani değişimin LINKpipe içinde modellenmesi

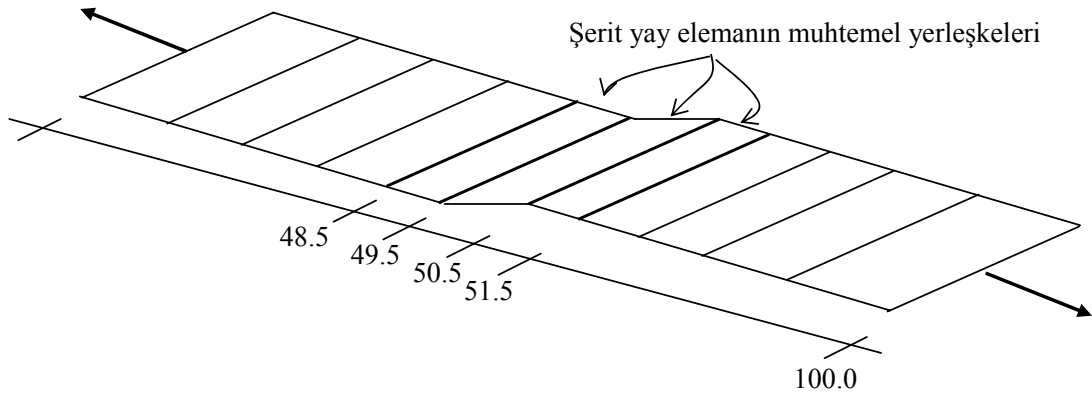
Bu modelle şerit yaya elemanın yerleşkesi değiştirilerek farklı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafikte gösterilmiştir(Şekil 9).



Şekil 9: Ani değişiklik durumunda farklı derinlik/kalınlık oranları ve şerit yay eleman yerleşkeleri için LINKpipe yazılımının analizleri

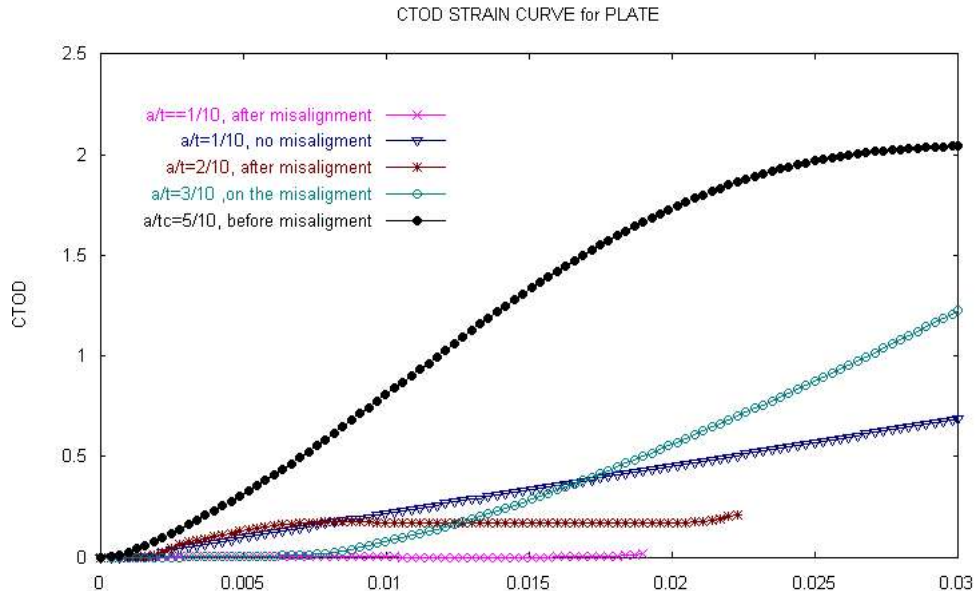
Burada şerit yaya elemanın yerleşkesinin çatlak parametresi üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmektedir. Özellikle şerit yay elemanın birleşim noktası uyumsuzluğundan önce yerleştirilmesi halinde beklenmedik sonuç elde edilmektedir.

İkinci durumda ise birleşim noktası uyumsuzluğu ani çaptaki ani değişim şeklinde değilde belli bir eğim verilerek sürekli halde değiştiği kabul edilmiştir.(Şekil 10)



Şekil 10: Sürekli değişimin LINKpipe yazılımında modellenmesi

Şerit yay elemanın üç değişik yerleşim durumuna göre analizler yapıldı ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerle gösterildi.(Şekil 11)



Şekil 11: Sürekli değişim durumunda farklı çatlak derinlik/kalınlık oranları ve şerit yay eleman yerleşkeleri için LINKpipe yazılımı analizleri

5. SONUÇLAR

Burada şerit yay elemanın eğimli bölgeye yerleştirildiğinde çatlak parametresi davranışının beklenen doğrultuda olduğu görülmektedir. Ancak şerit yay elemanın gerek uyumsuzluk öncesi veya sonrası durumda tanımlanması durumunda çatlak parametresinin beklenen davranıştan sağlamadığı gözükmemektedir. Bu analizler sonucu bileşim noktası uyumsuzluklarının çatlak parametreleri üzerinde tam etkisinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için şerit yay elemanın yerleşkesinin iyi tanımlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır

KAYNAKLAR

- [1] Moran B, Shih CF. A general treatment of crack tip contour integrals. International Journal of Fracture;35:295-310, 1987
- [2] Rahman S, Brust FW, Ghadiali N, Wilkowski G. Crack-opening-area analyses for circumferential through-wall cracks in pipes. Part III: Off-center cracks, restraint of bending, thickness transition, and weld residual stresses. International Journal of Pressure Vessels and Piping;75(5):397-415, 1998
- [3] Rice, J. R. and Levy, N. The part-through surface crack in an elastic plate. J. Appl. Mech. 39, 185-194. 1972
- [4] Rice J.R. Some remarks on elastic crack-tip stress fields . International Journal Solid and Structure, 8, 751-758,1972a
- [5] Rice J.R. The line-spring model for surface flaws. In the surface cracks: Physical Problems and Computational Solution ed. Swedlow, J L. ASME ,pp 171-185, 1972b
- [6] Lee H and Parks D.M Enhanced Elastic-Plastic Line-spring Finite Element Int. J. Solids Structures Vol. 32, No. 16, pi. 2393-4418, 1995
- [7] Park D.M. The inelastic line-spring Estimate of elastic-plastic fracture mechanics parameters for surface cracked plates and shells. Journal of Pressure Vessel Technology, 104,287-292,1982
- [8] Parks, D and White C.S. Journal of Pressure Vessel Technology,104,287-292, 1982
- [9] King R.B Elastic-plastic analysis of surface flaws using simplified line-spring model. Engineering Fracture Mechanics. Vol:18. No:1. pp 217-231,1983
- [10] Mohan R. Fracture Analyses of surface cracked pipes and elbows using the line spring/shell model. Engineering Fracture Mechanics Vol. 59 No.4 pp. 425-438,1998
- [11] Tada , H. Paris P.C and Irwin, G.R Fracture proof design. In stress analysis of cracks handbook. St Louis Missouri,1985
- [12] Shiratori, M and Miyosi T., Evaluation of constraint factor and J integral for single edged notched specimen. In mechanical behavior of Materials, Proceeding of the 3rd international conferences, 3, ed Miller, K. J and Smith, R. F.1980,pp425-434
- [13] Chiesa, M., Nyhus, B., Skallerud, B. and Thaulow, C Efficient Fracture Assessment of Pipelines. A Constraint Corrected SENT Specimen Approach. Engineering Fracture Mechanics, 68, 527-547,2001
- [14] Skallerud B and Haugen B Collapse of thin shell structures– stress resultant plasticity modeling within a co-rotated andes finite element formulation”. Int. J. Numer. Meth. Engng., 46, 1961-1986,1999
- [15] Skallerud B, Holthe K and Haugen B. “Thin shell and surface crack finite elements for simulation of combined failure modes”. Comput. Methods Appl. Mech. Engng. 194, 2619-2640,2005

- [16] Thaulow C, Jayadevan K R, Skallerud B, Holthe K, Berg B, Østby B and Nyhus B., (2004). “Advances in computational procedures for the structural integrity of pipelines”. Proc. of Int. Conf. on Advances in Structural Integrity, July 14-17, Indian Institute of Science, Bangalore, India.
- [17] Jayadevan K. R., Thaulow C, Østby E., Berg E., , Skallerud B., Holthe K., and Nyhus B. Structural integrity of pipelines: T- stress by line-spring. *Fatigue Frac. Engng Mater Struc* 28,467-488,2005
- [18] Skallerud B, Berg E, and Jayadevan KR (2005), “Two-parameter fracture assessment of surface cracked cylindrical shells during collapse”, accepted for publication in *Engng Fract Mech*
- [19] Jayadevan K R, Berg E, Thaulow C. ,Østby E. and Skallerud B. “Numerical investigation of ductile tearing in surface cracked pipes using line-spring”. Submitted to *Int. J. Solids and Structures*, January 2005
- [20] Erling O. Fracture Control, 6th SCM, Trondheim, Norway, 17th – 18th of November 2004
- [21] Worswick M.J and Pick R. J. Influence of weld misalignment and weld metal overmatch of the prediction of fracture in pipeline girth welds. *Int J. Press Ves & Piping* 21, 209-234,1985

